

مطالعه اثر تغییر اقلیم بر ویژگی های رشد و عملکرد گندم دیم رقم سرداری با استفاده از مدل گردش عمومی

علیرضا کوچکی-مهدی نصیری- جواد بداغ جمالی - حسن هوششی^۱

تاریخ دریافت: ۸۵/۳/۲۹

چکیده

شواهد موجود حاکی از آن است که پدیده تغییر اقلیم در مناطق خشک و نیمه خشک از طریق کاهش میانگین پارش مالانه و افزایش تبخیر و تعریق بالقوه به دلیل افزایش دما، باعث کاهش سرعت رشد گندم شده که این امر کاهش عملکرد را بدبان خواهد داشت. از این‌رو این تحقیق بمنظور ارزیابی اثرات تغییر میزان بارندگی و دما بر سرعت رشد و عملکرد گندم دیم رقم سرداری در شرایط تغییر اقلیم انجام شد. مدل WOFOST برای شرایط کنونی و در شرایط اقلیمی سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ بر اساس نتایج حاصل از مدل گردش عمومی UKMO اجراء شده و تغییرات رشد و عملکرد گندم تحت شرایط اقلیمی حاضر و شرایط تغییر اقلیم مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از شیوه سازی گندم دیم نیز نشان داد که سرعت رشد گندم رقم سرداری در ۱۲ استگاه مورد مطالعه برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۱ میلادی به ترتیب به میزان ۳۰-۴۱ و ۳۲-۴۱ درصد کاهش خواهد یافت. در همین رابطه علی رغم اثرات مثبت بالارفتن غلظت گازکربنیک آتمسفر، عملکرد گندم دیم در مناطق دیم خیز کشور کاهش خواهد یافت. این کاهش در قسمت های شرقی کشور (نظری استان خراسان) در مقایسه با قسمت های غربی کشور به دلیل کاهش بیشتر نزولات شدیدتر خواهد بود. براساس این نتایج میانگین کاهش عملکرد گندم دیم در استگاههای مطالعه شده برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی به ترتیب برابر با ۶۰ و ۲۸٪ درصد نسبت به میانگین فعلی می باشد. نتایج حاصل از اجرای مدل WOFOST تحت ۱۰۰ سناریوی ساختگی تغییر اقلیم نیز نشان داد که عملکرد گندم دیم در تمامی مناطق کشت گندم دیم کشور در شرایط تغییر اقلیم کاهش خواهد یافت. براساس این نتایج احتمال کاهش عملکرد قابل توجه بوده و میانگین این کاهش (بالاترین احتمال) در حدود ۱۸ درصد برای سال ۲۰۲۵ و در حدود ۲۴ درصد برای سال ۲۰۵۱ میلادی خواهد بود.

واژه های کلیدی: گندم دیم، تغییر اقلیم، سرعت رشد، عملکرد، رقم سرداری.

مقدمه

گازهای گلخانه ای اتمسفر با سرعت فعلی افزایش یابد، پیش بینی اغلب مدلهای اقلیمی موجود حاکی از آن است که میانگین درجه حرارت جهان در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ میلادی دست کم ۲ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت (۳۱). با وجود این که دامنه عدم قطعیت پیش بینی درجه حرارت برای سال ۲۱۰۰ بین ۱۵ تا ۳۱ درجه سانتی گراد است ولی باید توجه داشت که حتی ۱ درجه افزایش دما در طی ۱۰ هزار سال گذشته بی سابقه خواهد بود (۳۱).

در کشور ایران که جزء مناطق گرم و خشک طبیعت بندی می شود، بخش عمده ای از اراضی کشور به تولید گندم دیم اختصاص دارد و از آنجا که تولید محصولات دیم، اساساً بر

در طی دهه کنونی موضوع تغییر اقلیم و نوسانات اقلیمی در بسیاری از مطالعات علمی مطرح شده به طوری که نوسانات و تغییرات اقلیم از اصلی ترین و مهمترین چالشهای محیطی هستند که در شروع قرن ۲۱ میلادی در دنیا مورد توجه قرار گرفته است (۱۷).

برآوردها و اندازه گیری های دقیق نشان داده است که غلظت گازکربنیک اتمسفر در سال ۱۷۵۰ میلادی در حدود ۱۷۷ میلیارد تن (فقط در میلیون) بوده و تا سال ۱۹۹۹ میلادی به ۳۶۷ میلیارد تن (فقط در میلیون) افزایش یافته است. بنابراین سرعت افزایش غلظت این گاز در اتمسفر معادل ۴٪ درصد در سال می باشد (۱۸). چنانچه غلظت

۱- به ترتیب نفر اول استاد، نفر دوم دانشیار و نفر چهارم استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و نفر سوم عضو هیأت علمی سازمان هواشناسی کشور

ویژگیهای اقلیمی و آب و هوایی منکی می‌باشد، بروز تغییرات اقلیمی این سیستمها را به مرتبه بیشتر از سیستمها تولید آینده متأثر خواهد ساخت. بدیهی است بهره برداری موققبت آمیز از این سیستمها مستلزم آگاهی دقیق از وضعیت درازمدت تولید آنها در مواجهه با تغییرات اقلیمی می‌باشد.

بطور کلی انرژی موجود جهت تبخیر، عامل محدودکننده از طرف دیگر افزایش درجه حرارت، سرعت نمو محصولات زراعی را افزایش خواهد داد، با این حال شواهد آزمایشی نشان داده است که تحت این شرایط، طول دوره رسیدگی دانه در غلات و گیاهان دانه‌ای کوتاه‌تر خواهد شد (۳۵). از آنجاکه حصول عملکرد مطلوب از یک سو تابع تجمع ماده خشک در طول فصل رویش و از سوی دیگر تابع وجود زمان کافی برای انتقال مواد به دانه می‌باشد. افزایش درجه حرارت باعث کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه در غلات شده ولذا عملکرد این محصولات کاهش خواهد یافت (۲۳).

در حال حاضر مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی در مقیاس منطقه‌ای به برآورد وضعیت اقلیمی آینده بستگی خواهد داشت. این برآوردها در حال حاضر توسعه مدل‌های اقلیمی و پیش از همه بوسیله مدل‌های گردش عمومی^۱ (GCMs) انجام می‌گیرد. جهت اجرای مدل‌های گردش عمومی لازم است وضعیت گازهای گلخانه‌ای و برخی شرایط دیگر در دوره‌ای که هدف پیش‌بینی آینده است تعریف شود. از آنجاکه روند آینده انتشار گازهای گلخانه از قطبیت کافی برخوردار نیست، جهت مطالعات تغییر اقلیم از سناریوهای مختلف، معمولاً جهت دوره‌هایی با طول ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال یا بیشتر، استفاده می‌شود (۵).

شواهد متعدد حاکی از آن است که در صورت تحقق پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم، مناطق گرم و خشک فعلی جهان گرمتر و خشک‌تر خواهند شد (۲۹). بنابراین، با توجه به افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی پیش‌بینی شده برای کشور در شرایط تغییر اقلیم، به نظر می‌رسد شرایط فوق تولید و عملکرد گندم دیم را تحت تاثیر قرار خواهد داد. بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده (۳۰) پتانسیل تولید غلات دیم در ایران که عملتاً گندم است بسته به سناریوی تغییر اقلیم بکار رفته می‌تواند بین ۵-۴۰ درصد کاهش

ویژگیهای اقلیمی و آب و هوایی منکی می‌باشد، بروز تغییرات اقلیمی این سیستمها را به مرتبه بیشتر از سیستمها تولید آینده متأثر خواهد ساخت. بدیهی است بهره برداری موققبت آمیز از این سیستمها مستلزم آگاهی دقیق از وضعیت درازمدت تولید آنها در مواجهه با تغییرات اقلیمی می‌باشد.

هیدرولوژی منطقه‌ای در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است. از آنجاکه پایین بودن میانگین نزوالت سالانه بامیانگین بالای تبخیر و تعرق بالقوه همراه است، مناطق خشک جهان را می‌توان بر اساس نسبت این دو متغیر تقسیم بنده کرد. بر اساس این تقسیم بنده بخش عمده مناطق دیم جهان (از جمله سیستم‌های زراعی دیم ایران) در محیط‌هایی قرار دارند که در آنها بنت میانگین بارش سالانه به میانگین تبخیر و تعرق بالقوه بین ۲۰ تا ۵۰٪ می‌باشد (۲۶). از سوی دیگر شواهد موجود حاکی از آن است که پدیده تغییر اقلیم، نسبت فوق را در مناطق خشک و نیمه خشک هم از طریق کاهش میانگین بارش سالانه و هم از طریق افزایش تبخیر و تعرق بالقوه به دلیل افزایش درجه حرارت، به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد. در صورت تحقق چنین تغییراتی، تولید محصولات دیم که در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک که عملتاً بر غلات و بویژه گندم استوار است به مخاطره خواهد افتاد (۳۰). در خصوص برآورد اثر تغییر اقلیم بر ویژگیهای رشد گیاهان زراعی نتایج متضادی وجود دارد، اما بطور مسلم افزایش غلظت CO_2 به دو طریق بر فرایندهای رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد. یکی اثرات مستقیم این گازها بر فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی و دیگری اثرات غیرمستقیم تغییر اقلیمی که از طریق تغییرات دما، بارندگی و تشمع روی گیاه تاثیر می‌گذارد (۹). چون غلظت کنونی گاز کربنیک آتسفر از میزان مطلوب این گاز برای رشد و نمو گیاهان کمتر است، افزایش غلظت CO_2 باعث افزایش فتوسترات گیاهان می‌شود. از طرف دیگر افزایش درجه حرارت ناشی از تغییر اقلیم باعث تسريع نمو و کاهش طول فصل رشد گیاهان زراعی خواهد شد و برآیند این دو عامل تعیین کننده اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان در هر منطقه خواهد بود.

سرعت رشد محصول شاخصی از سرعت تجمع ماده خشک در گیاهان زراعی است. عوامل محیطی متعددی بر این شاخص

و فزوین انتخاب شدند.

شیوه سازی رشد و عملکرد گندم: در طی سالهای اخیر مدل‌های متعددی جهت شیوه سازی رشد و تولید محصولات زراعی با اهداف مختلف تهیه شده اند (۱۵). در این میان مدل‌هایی که از داده‌های روزانه آب و هوایی، خاک و گیاه بعنوان ورودی استفاده می‌کنند، دارایی توانایی خوبی‌جای استفاده در آنالیز ریسک تولید یک محصول زراعی در شرایط اقلیمی خاصی می‌باشد (۳۳). با این حال اغلب مدل‌های اقلیمی کشاورزی در صورت استفاده در محلی به غیر از محل ساخته شدن آنها از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. بنابراین پیش از بکارگیری این مدل‌ها در مطالعات لازم است تا با استفاده از داده‌های فنلوجی و عملکرد، توانایی مدل در تخمین رشد گیاه در شرایط جدید بالارفته و پارامترهای مدل واسنجی شوند (۱۶).

در این مطالعه جهت شیوه سازی رشد و عملکرد گندم دیم از مدل (WOfost ver. 7.0 (WOld FOod STudies) مدل دینامیک و تشریحی جهت شیوه سازی رشد گیاهان زراعی است، استفاده شد (۲۶ و ۳۲). WOfost مدلی برای شیوه سازی رشد و نمو گیاهان زراعی یک‌ساله و علفهای چمنی در طول فصل رشد (از کاشت تا پرداشت) با فواصل زمانی یک روزه ساخته است. این مدل می‌ستمی شامل محصول زراعی، شرایط آب و

یابد. از آنجا که پیش‌بینی‌های مربوط به تولید محصولات زراعی در شرایط اقلیمی آینده، برای مثال مطالعه روزنیگ و پاری (۳۰) اغلب در مقیاس جهانی انجام می‌گیرند، لازم است پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای تیز بررسی شده تا وضعیت آینده تولید محصولات زراعی با دقت بیشتری پیش‌بینی گردد. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش مطالعه رشد و عملکرد گندم دیم در مناطق اصلی تولید این محصول در ایران در شرایط اقلیمی سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

داده‌های عملکرد گندم: داده‌های مربوط به عملکرد گندم دیم کشور در فاصله سالهای ۱۳۸۲-۱۳۶۳ از بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی استخراج شد و آمار مربوط به سالهای ۱۳۶۲-۱۳۵۰ از طریق بخش غلات موسسه اصلاح بذر و نهال (مکاتبات شخصی) جمع آوری گردید. سپس تولید گندم دیم کشور در استان‌های مختلف تعیین و مناطق اصلی تولید گندم دیم کشور مشخص شدند (جدول ۱). به این ترتیب با توجه به داده‌های موجود، مناطق اصلی تولید گندم دیم کشور در این مطالعه از استانهای کردستان، چهارمحال و بختیاری، لرستان، کرمانشاه، همدان، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، مرکزی

جدول (۱) درصد تولید گندم دیم از کل تولید گندم در استانهای مختلف کشور **
(منبع: بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی)

نام استان	درصد تولید گندم دیم	نام استان	درصد تولید گندم دیم از کل تولید گندم استان
کردستان	۷۴	هرمزگان	۲۱
کهگیلویه	۶۷	خراسان	۱۸
کهگیلویه	۶۱	تهران	۱۴
ایلام*	۵۳	سمنان	۱۳
آذربایجان غربی	۴۹	فارس	۵
لرستان	۴۴	بوشهر	۴
آذربایجان شرقی	۴۲	اصفهان	۳
همدان	۳۷	هرمزگان	۱
چهارمحال	۳۵	سیستان و بلوچستان	۱
زنجان	۳۲	تهران	۱
قزوین	۲۹	سایر استانها	≥۱

*: استانهای گیلان و مازندران در این مطالعه بررسی نشده‌اند.

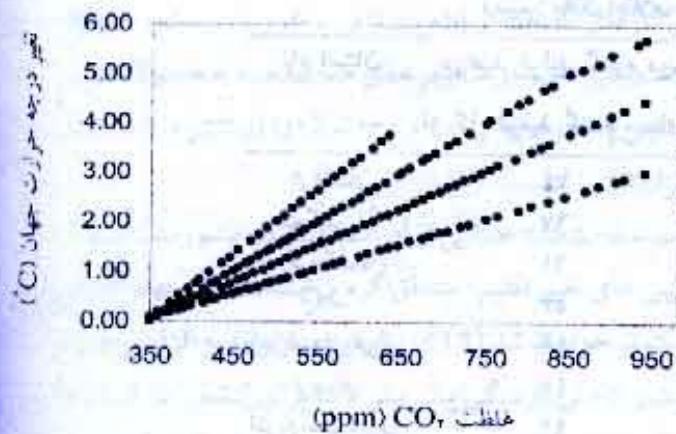
**: در مورد این استانها اطلاعات کافی در اختیار نبوده است، لذا در مطالعه وارد نشده‌اند.

مطالعه جهت برآورد میزان تشعشع روزانه در ایستگاههای مختلف کشور از روش ارائه شده توسط خودربان (۱۲) استفاده شد. این روش تشعشع روزانه و طول روز را براساس عرض جغرافیائی منطقه محاسبه می‌کند. در این روش میزان تشعشع روزانه در بالای اتمسفر محاسبه می‌شود و برای تبدیل آن به تشعشع روزانه در بالای کانونی گیاهان زراعی به ضریب نشر اتمسفری نیاز است که خود تابعی از درجه ابری بودن آسمان است. به علت عدم دسترسی به اطلاعات کامل ساعات آفتابی میزان ضریب نشر اتمسفری بطور ثابت معادل ۷۰ در نظر گرفته شد (۱۲).

نهایتاً مدل WOFOST با استفاده از داده‌های اقلیمی موجود (میانگین دراز مدت داده‌های آب و هوایی در ایستگاههای تحت بررسی) در شرایط فعلی و در شرایط اقلیمی سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ براساس نتایج بدست آمده از مدل GCM اجرا شده و تغیرات رشد عملکرد گندم دیم تحت این شرایط اقلیمی با وضعیت کنونی مورد مقایسه قرار گرفته است.

در ادامه، مدل WOFOST تحت دامنه وسیعی از شرایط افزایش غلظت گاز کربنیک، درجه حرارت و بارندگی اجرا گردید و عملکرد گندم برای ۱۰ سناریوی ساختگی تغییر اقلیم و مطالعات قیلی انجام شده در مورد رقم گندم سرداری که متقاضی ترین رقم گندم دیم در ایران است بدست آمد (۱). جزئیات مربوط به تعیین اعتبار مدل برای گندم دیم رقم سرداری توسط نصیری و همکاران (۲۵) ارائه شده است.

شکل (۱).



شکل (۱) رابطه بین غلظت گاز کربنیک و تغییر جهانی درجه حرارت در سناریوهای SRES (شکل براساس داده‌های منبع ۱۸ بازسازی شده است).

هوایی و خصوصیات خاک را همراه با بیلان آبی خاک و گیاه شبیه سازی می‌کند. در خارج از فصل رشد گیاه بیلان آبی خاک را می‌توان از روی شرایط خاک عاری از پوشش برآورد کرد. در این مدل فرآیندهای اصلی و شد شامل نمو، فتوستز، تنفس و سرعت تولید ماده خشک (بعثتوان تابعی از تبخیر و تعرق) می‌باشند. WOFOST از پارامترها و توابعی برای توصیف الاتر عوامل محیطی بر فرآیندهای اصلی و شد محصول استفاده می‌کند (۷). مدل WOFOST برای سه شرایط شامل شرایط پتانسیل (بدون محدودیت)، شرایط محدودیت آبی و شرایط محدودیت عناصر غذایی قادر به عمل است و در این مطالعه از قابلیت‌های مدل در شرایط محدودیت آبی استفاده شده است.

مدل WOFOST پیش از بکارگیری در مطالعه تغییر اقلیم ابتدا واسنجی و سپس تعیین اعتبار گردید. این عمل معمولاً با اجرای مدل، تصحیح پارامترها و ضرایب جهت اصلاح نتایج نادرست و تکرار این عمل تا حصول نتیجه مطلوب دنبال می‌شود (۲۷). قبل از تعیین اعتبار مدل اجرای مرحله واسنجی آن ضروری است. پارامترها و ضرایب مدل WOFOST در این مطالعه از مطالعات قیلی انجام شده در مورد رقم گندم سرداری که متقاضی ترین رقم گندم دیم در ایران است بدست آمد (۱). جزئیات مربوط به تعیین اعتبار مدل برای گندم دیم رقم سرداری توسط نصیری و همکاران (۲۵) ارائه شده است.

سناریوی تغییر اقلیم: در این مطالعه از نتایج مدل گردش عمومی^۱ UKMO که توسط کوچکی و همکاران (۱۳۸۲) جهت پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی ایستگاههای مختلف کشور برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی ارائه شده است، استفاده شد. غلظت گاز کربنیک اتمسفر بر اساس آخرین برآورد^۲ IPCC در این سالها به ترتیب حدود ۴۲۵ و ۵۰۰ قسمت در میلیون می‌باشد (۱۸). با اجرای مدل GCM مقادیر ماهانه درجه حرارت حداقل، حداقل و نزولات ماهانه برای ایستگاههای مختلف محاسبه گردید. جهت تبدیل داده‌های ماهانه به روزانه از تولید کشته^۳ داده‌های آب و هوایی^۴ WEGEN استفاده شد. مطالعات قبلی (۲) نشان داده است که تأثیر تغییر اقلیم بر میزان تشعشع ورودی در ایستگاههای مختلف کشور ناچیز می‌باشد. در این

۱) United Kingdom Meteorological Organization

۳) Weather Data Generator

2) Intergovernmental Panel of Climate Change

(داده ها نشان داده نشده است). عملکرد شبیه سازی شده نیز در اغلب موارد با داده های اندازه گیری شده انطباق قابل قبول داشت و نتایج پیش بینی عملکرد در محدوده 20 ± 20 درصد از عملکرد واقعی قرار داشت. در سالهای که خشکسالی شدید واقع شده بود تفاوت بین عملکرد شبیه سازی شده و عملکرد واقعی بیشتر بود و بیشترین انحراف مدل در این سالها ظاهر گردید. این امر احتمالاً به دلیل سایر محدودیت های رشد است (۵) که در مدل WOFOST در نظر گرفته نشده است.

تفاوت های عملکرد اندازه گیری شده و شبیه سازی شده توسط مدل معنی دار نبود. این تفاوت ها در شبیه سازی عملکرد گندم دیم نسبت به مقادیر واقعی عملکرد در سالهای تحت بررسی کمتر از ۲۰ درصد بود. نتیجه تعیین اعتبار مدل بر اساس تفاوت بین مقادیر عملکرد مشاهده شده و شبیه سازی شده نیز در محدوده قابل اطمینان بود (۲۵).

بر این اساس می توان مدل مذکور را جهت شبیه سازی رشد و عملکرد گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم نیز مورد استفاده قرار داد. استفاده از مدل های شبیه سازی جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گیاهان پس از واستجواب و تعیین اعتبار آنها در بسیاری از مطالعات با موفقیت همراه بوده است (۱۵). لازم به ذکر است که در این نوع مطالعات که در مقیاس زمانی و مکانی وسیع انجام می گیرد، دقت برآورده مقادیر شبیه سازی در محدوده ای بالاتر از آنچه در مطالعات و ارزیابی های مدیریتی صورت می گیرد تا حد زیاد کمتر خواهد بود. با این حال استفاده از این مدلها تنها راه حل موجود جهت مطالعه اثرات تغییر اقلیم در مقیاس منطقه ای می باشد (۳).

اثر تغییر اقلیم بر سرعت رشد گندم: نتایج حاصل از شبیه سازی رشد گندم دیم در این مطالعه نشان داد که سرعت رشد در شرایط تغییر اقلیم تقلیل خواهد یافت. تأثیر شرایط تغییر اقلیم بر کاهش سرعت رشد محصول و مقایسه آن با سرعت رشد بالقوه برای یک استگاه منتخب در شکل (۲) نشان داده شده است. شکل ۲ (الف) نسبت AET/PET را عنوان فاکتور کاهش ارائه می کند. لازم به ذکر است که سطح محصور بین نمودار تغییرات PET و AET شاخص کمبود آب در طی دوره رشد می باشد. ضمناً نمودار سرعت رشد واقعی در شکل (۲)(ب) با ضرب کردن فاکتور کاهش در سرعت رشد بالقوه محاسبه شده است.

با استفاده از رابطه ارائه شده در شکل (۱) در غلظتهاي مختلف گاز کربنیک، درجه حرارت های مختلفي انتخاب گردید. به اين ترتیب امکان شبیه سازی با دامنه وسیعی از غلظت گاز کربنیک، درجه حرارت و بارندگی فراهم گردید و به این طریق، نقاط زیاد به عنوان عملکردهای مجازی گندم در شرایط دیم توسط مدل WOFOST تولید شد. از آنجا که این عملکردهای مجازی همگی در محدوده قابل قبول شرایط اقلیمی و بر اساس دامنه سناریوهای IPCC بدست آمده بودند، در واقع توزیع احتمالات عملکرد در شرایط تغییر اقلیم را نشان می دهن. این روش تا حد زیادی بر روش جونز (۱۹) استوار است که عدم قطعیت در اثرات اقلیمی آینده را بصورت توابع احتمال بررسی کرده است. با استفاده از داده های عملکرد مجازی رابطه رگرسیون چند متغیره بصورت زیر حل شد و احتمالات تغییر عملکرد گندم دیم بر اساس آن محاسبه گردید:

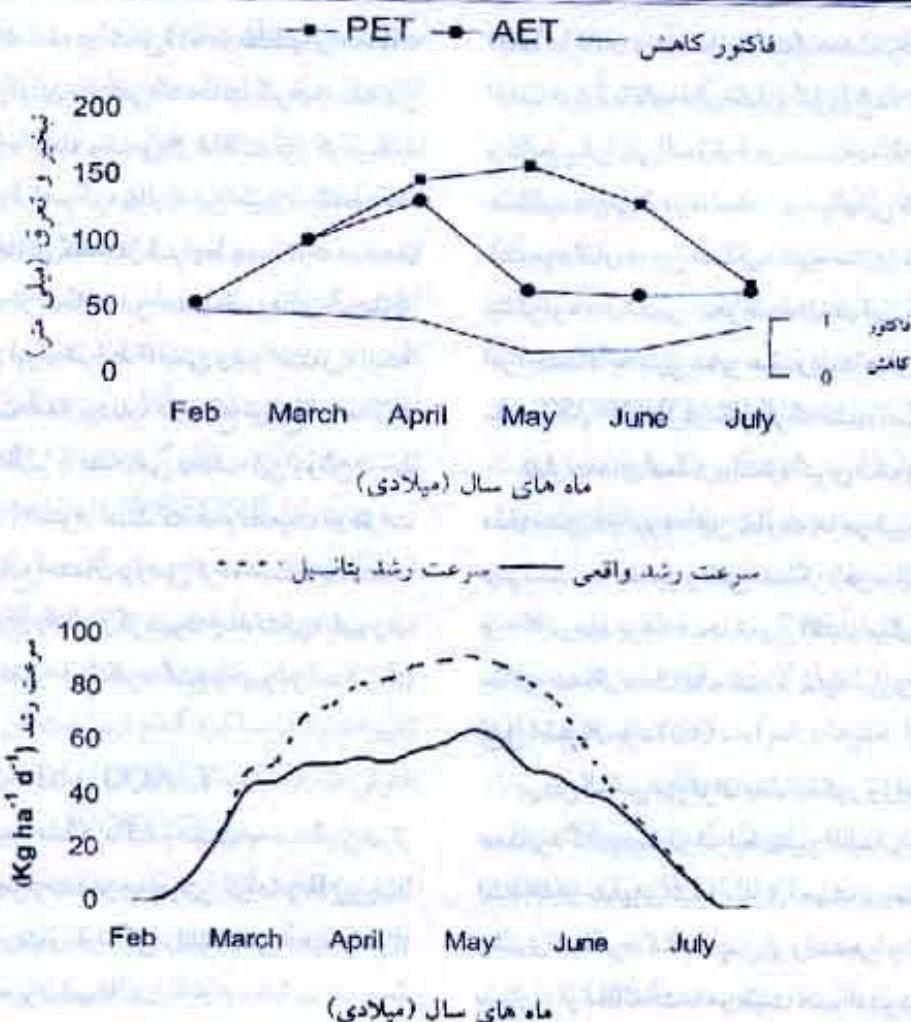
$$Y = ACO_2 + bT + cR + d$$

که در آن Y درصد تغییر عملکرد گندم نسبت به میانگین دراز مدت عملکرد، T درجه حرارت (درجه سانتی گراد) و R (درصد تغییر) به ترتیب درجه حرارت و بارندگی را نشان می دهند و a و b ضرایب ثابت معادله رگرسیون است.

نتایج و بحث

واسنجی و تعیین اعتبار مدل: مدل WOFOST در شرایط محدودیت رطوبت (شرایط دیم) بر اساس تاریخهای مرافق فنلوزیکی و عملکرد برای رقم سرداری در سالهای ۱۳۷۸-۸۱ در شرایط آب و هوایی مشهد واسنجی شد. به این منظور پارامترهای مدل برای تصحیح زمان وقوع مراحل نمو و نیز عملکرد نهایی تعیین شدند. این عمل با اجرای مدل و تصحیح پارامترها در هنگام حصول نتایج غیر قابل قبول تکرار شد تا جایی که برای هر سال تعیین برآورده تاریخهای نمو و عملکرد در حد مطلوب و قابل قبول باشد (در فاصله اطمینان 20 ± 20 درصد قرار گیرد).

نتایج مربوط به تعیین اعتبار این مدل توسط نصیری و همکاران گزارش شده است (۲۵). بر اساس این نتایج، مدل WOFOST مراحل رشد گندم دیم (رقم سرداری) را با دقت قابل قبولی پیش بینی کرد. اختلاف بین تاریخ های شبیه سازی شده و مشاهده شده وقوع گلدهی و رسیدگی در محدوده ۳ تا ۸ روز در تغییر بود



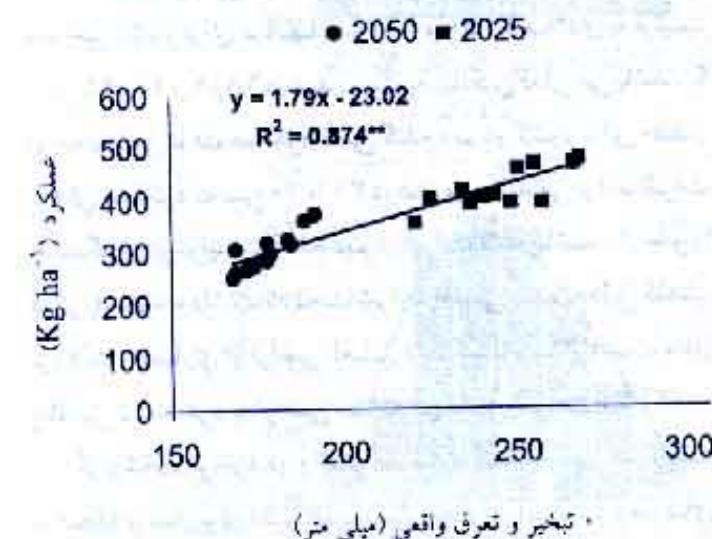
شکل (۱) (الف) تبخیر و تعرق واقعی (AET) و تبخیر و تعرق بالقوه (PET) گندم رقم سرداری در منطقه کرمانشاه شبیه سازی شده در شرایط اقلیمی سال ۲۰۰۰. ب) تفاوت سرعت رشد بالقوه و واقعی در شرایط تعریف شده در نمودار (الف) جهت توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

متعدد نشان داده است که با افزایش غلظت گاز کربنیک، سرعت فتوسنتز در گیاهان C_3 (از جمله گندم) افزایش می‌یابد (۳۰). بنابراین، چون کارآئی مصرف نور شاخصی از فتوسنتز خالص گیاهان می‌باشد، انتظار می‌رود که تحت شرایط تغییر اقلیم، RUE افزایش یابد. آسنگ و همکاران (۶) در مطالعه خود جهت شبیه سازی رشد و عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم، میزان افزایش کارآئی مصرف نور در گندم را در غلظت ۵۵۰ بی پس ام گاز کربنیک معادل ۱۵ درصد فرض کرده‌اند. بر این اساس با توجه به اینکه کارآئی مصرف نور در شرایط تعریف شده برای اقلیم آینده مناطق دیم خیز کشور افزایش خواهد یافت، به نظر می‌رسد که کاهش سرعت رشد گندم تحت این شرایط در رابطه با کاهش چشمگیر جذب نور به دلیل کاهش سطح برگ در اثر بروز خشکی

نتایج حاصل از محاسبه میزان کاهش سرعت رشد در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط فعلی برای مناطق مختلف تولید گندم دیم کشور در جدول (۲) خلاصه شده است. سرعت رشد گندم نظیر سایر محصولات زراعی از طریق حاصلضرب میزان تشعشع جذب شده (ژول در متر مربع در روز) در کارآئی مصرف نور (RUE، گرم ماده^۱ خشک به ازاء ژول انرژی) نیز قابل محاسبه است (۲۴). از آنجاکه مطالعات انجام شده قبلی در مورد شاخصهای اقلیمی توسط مدل‌های گردش عمومی نشان داده است که تأثیر تغییر اقلیم بر میزان تشعشع ورودی در اکثر نقاط ایران ناچیز می‌باشد (۲)، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش سرعت رشد در شرایط تغییر اقلیم احتمالاً به دلیل تغییر در میزان تشعشع جذب شده و یا کاهش RUE می‌باشد. شواهد

گندم در شرایط تغییر اقلیم تعریف نمود. این تابع اساساً نوعی رابطه رگرسیون است که ارتباط بین عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی را بین می‌کند و بنابراین برای یک محصول زراعی که در یک سیستم زراعی یکنواخت رشد کند با اعتبار خواهد بود، به عبارت دیگر به دلیل ماهیت رگرسیونی آن اختصاصاً برای محلی که برآش داده شده قابل استفاده است. فرم عمومی این تابع خطی بوده و ضرایب آن برای هر شرایط از طریق برآش تابع به داده‌ها تعیین می‌شود. بعلاوه بر اساس دستورالعمل تابعیه بندی FAO (۱۱) این تابع را می‌توان برای مجموعه‌ای از استگاه‌ها نیز پذکار برد.

در این مطالعه به متوجه بررسی تأثیر میزان بارش و درجه حرارت بر عملکرد گندم، از تابع عملکرد فوق استفاده گردید. داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد شبیه سازی شده گندم در استگاه‌های تحت بررسی برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی به تابع عملکرد برآش داده شد. نتایج نشان داد که همبستگی قوی بین عملکرد و تبخیر و تعرق حقیقی برقرار است و بطور کلی با افزایش میزان تبخیر و تعرق واقعی عملکرد گندم دیم نیز افزایش می‌پابد. این ارتباط که در شکل (۳) نشان داده شده به نوعی با تغییرات سرعت رشد گندم که قبل از آن اشاره شد مربوط می‌باشد. در واقع با بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق واقعی و نزدیک شدن به تبخیر و تعرق بالقوه سرعت رشد گندم به پتانسیل خود نزدیک شده و لذا با تولید ماده خشک بیشتر، عملکرد (در شاخص



شکل (۳) تابع عملکرد گندم دیم در شرایط اقلیمی سال ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی. مقادیر تبخیر و تعرق و عملکرد بر اساس شبیه سازی بوسیله مدل در شرایط تغییر اقلیم بدست آمده‌اند.

جدول (۲) میانگین کاهش سرعت رشد گندم نسبت به شرایط فعلی (درصد) در شرایط اقلیمی سال ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰

استگاه	میانگین تغییر سرعت رشد محصول (%)		
		۲۰۵۰	۲۰۲۵
اراک		۳۴	۲۱
ارومیه		۳۹	۲۸
تبریز		۳۶	۲۳
خرم آباد		۳۷	۲۹
خوی		۳۵	۲۴
زنجان		۳۸	۲۳
سقز		۳۳	۲۴
سنندج		۳۲	۲۱
شهرکرد		۴۱	۳۰
قرمیز		۳۸	۲۹
کرمانشاه		۳۶	۲۷
همدان			

باشد. کیتینگ و همکاران (۲۰) مشدت نشان آب را بر حسب نسبت آب قابل دسترس خاک برآورد کرده و نشان دادند که چنانچه در گندم نسبت آب قابل دسترس خاک به کمتر از ۴۵٪، تقلیل یابد، کاهش رشد برگ آغاز خواهد شد. توقف پنجه زنی در نسبت آب قابل استفاده کمتر از ۵٪ صورت گرفته در حالی که کاهش فتومنستر و رشد طولی ریشه در نسبت کمتر از ۲۵٪ شروع می‌شود. به نظر می‌رسد که علی‌رغم تأثیر مثبت افزایش غلظت گازکربنیک بر کارآئی مصرف نور، این تأثیر بوسیله کاهش فتوستنتز ناشی از خشکی و نیز کاهش جذب نور به دلیل عدم توسعه 'کافی سطح برگ در کانونی' جبران شده و نهایتاً سرعت رشد گندم به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

عملکرد گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم: همانگونه که قبل ذکر شده کاهش عملکرد گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم عمدتاً به دلیل کاهش میزان بارش و افزایش تبخیر و تعرق در اثر افزایش درجه حرارت می‌باشد. بر اساس رابطه بین عملکرد و تبخیر و تعرق (۲۴) می‌توان نوعی تابع عملکرد را برای پیش‌بینی عملکرد

جدول (۳) میزان تغیرات عملکرد گندم دیم در مناطق دیم خیز کشور بر حسب درصد در مقایسه با میانگین تولید فعلی برای شرایط اقلیمی سال ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰. شرایط اقلیمی آینده توسط مدل گردش عمومی و عملکرد گندم دیم تحت این شرایط توسط مدل WDFOST شبیه سازی شده است.

تغیر عملکرد گندم دیم (%)		ایستگاه
۲۰۵۰	۲۰۲۵	
-۲۴	-۱۸	اراک
-۲۳	-۱۶	ارومیه
-۲۷	-۲۳	بنجورد
-۲۱	-۱۵	تبریز
-۲۸	-۲۲	خرم آباد
-۳۱	-۲۰	خوی
-۳۱	-۲۴	زنجان
-۲۶	-۱۹	سقز
-۲۵	-۱۷	ستدچ
-۲۹	-۲۱	شهرکرد
-۳۳	-۲۵	قزوین
-۲۷	-۲۰	کرمانشاه
-۲۹	-۲۲	همدان
-۲۸/۸	-۲۰/۶	میانگین

گندم بطور قابل توجهی افزایش یابد (۱۰). نتایج مشابهی نیز در مورد بهبود وضعیت تولید غلات در مناطق شمالی اروپا گزارش شده است (۳۰). مطالعات انجام شده در استرالیا مژید افزایش میزان نزولات و بالارفتن درجه حرارت در بیاری از نقاط تولید گندم در این کشور است و بر این اساس محققین پیش بینی کرده اند که تولید گندم استرالیا به دلیل اثرات مشبت افزایش غلظت گاز کربنیک و بارندگی، در طی ۱۰۰ سال آینده تا حدود ۳۰ درصد افزایش یابد (۸). این در حالی است که محققین آمریکایی کاهش نسبی عملکرد گندم دیم و آبی این کشور را در نواحی نیمه خشک و افزایش کمتر از ۱۰ درصد را برای مناطق شمالی پیش بینی کرده اند

برداشت ثابت) افزایش می یابد. بالعکس در شرایط کمبود بارش یا درجه حرارت بالا، کاهش تبخر و تعرق واقعی و اختلاف شدید آن با تبخر و تعرق بالقوه باعث کاهش سرعت تجمع ماده خشک و در نتیجه کاهش عملکرد خواهد شد.

به نظر می رسد که مشابه چنین رابطه ای را بتوان بین میزان کمبود بارش (مجموع اختلاف بین میزان بارش روزانه و تبخر و تعرق روزانه در طی دوره رشد) نیز بدست آورد. به این منظور داده های مربوط به کمبود بارش و عملکرد شبیه سازی شده در شرایط تغییر اقلیم نیز جهت ساختن نوعی تابع عملکرد مورد استفاده قرار گرفت (داده ها نشان داده نشده است). با این حال رابطه 'بدست آمده به لحاظ آماری معنی دار نبود ولذا به نظر می رسد پیش بینی میزان عملکرد گندم در شرایط اقلیم آینده بر اساس شاخص کمبود بارش از دقت کافی برخوردار نخواهد بود. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد گندم دیم در مناطق دیم خیز کشور در صورت تغییر میزان بارش و افزایش درجه حرارت، علیرغم اثرات مشبت بالارفتن غلظت گازکربنیک انسفار، کاهش خواهد یافت. این کاهش در قسمت های شرقی کشور به دلیل کاهش بیشتر نزولات در مقایسه با قسمت های غربی کشور شدیدتر خواهد بود. میزان تغییر برآورده شده در عملکرد گندم دیم در مناطق مختلف دیم خیز کشور براساس نتایج مدل شبیه سازی رشد و عملکرد گندم در جدول (۳) ارائه شده است. براساس این نتایج، میانگین کاهش عملکرد گندم دیم در مناطق دیم خیز کشور برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی به ترتیب برابر با ۶ و ۸/۸ درصد نسبت به میانگین فعلی می باشد. با توجه به پائین بودن عملکرد فعلی گندم دیم در کشور، این مقدار کاهش عملکرد که بین ۲۰ تا ۳۰ درصد می باشد می تواند اثرات چشمگیری بر تولیدات گندم دیم در ایران داشته باشد. از سوی دیگر باید توجه داشت که تحت شرایط اقلیمی آینده به دلیل کاهش نزولات، بسیاری از اراضی فعلی دیم کشور با از دست دادن پتانسیل تولید خود به اراضی حاشیه ای تبدیل خواهد شد (۴). گزارشات موجود در واکنش عملکرد گندم به تغییر اقلیم بسته به منطقه و ساریوی تغییر اقلیم بسیار متفاوت است. بررسیهای انجام شده در کانادا نشان داده است که تغییرات اقلیمی آینده باعث افزایش طول دوره رشد شده و امکان کشت ارتفاع دیررس تر گندم را فراهم خواهد ساخت و در نتیجه پیش بینی شده است که عملکرد

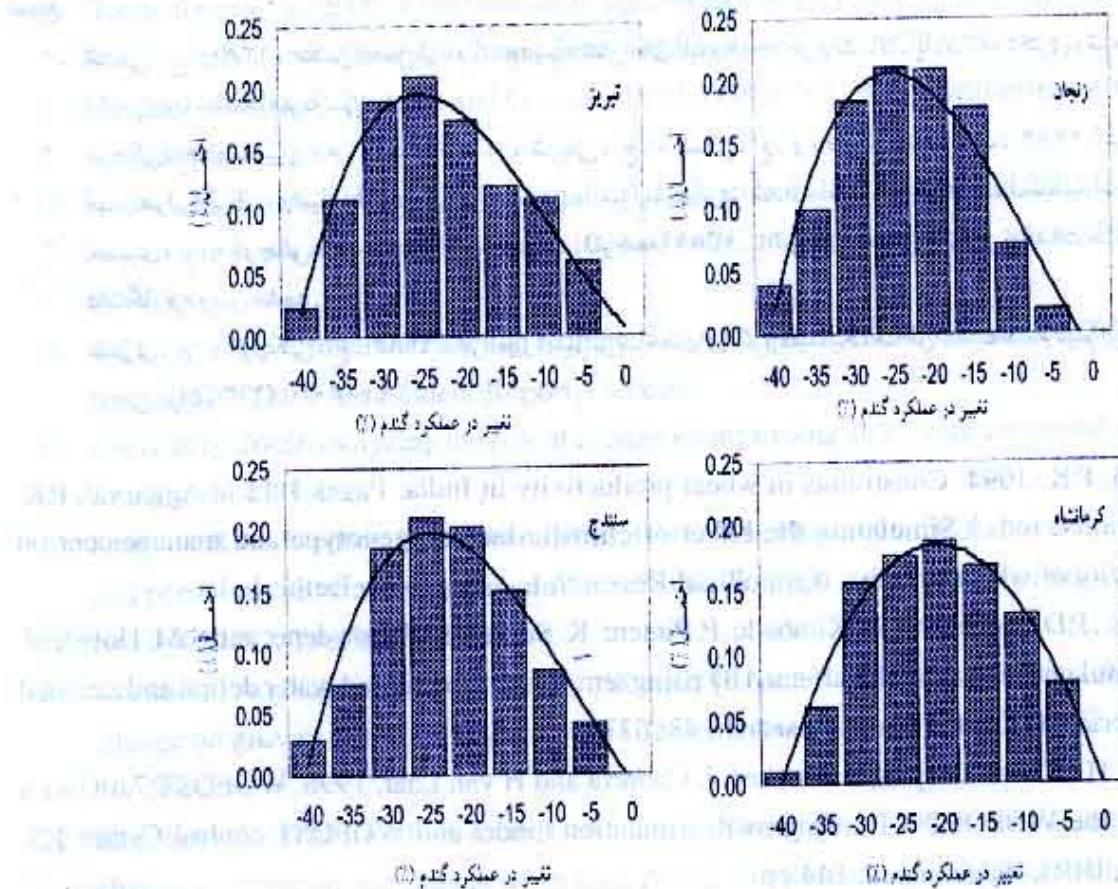
تغییر اقلیم محتمل می‌باشد. این محققین میانگین افزایش عملکرد گندم استرالیا در شرایط اقلیمی سال ۲۰۷۰ حدود ۱۵–۲۰ درصد گزارش کرده‌اند.

شکل (۴) احتمالات تغییر عملکرد گندم دیم در شرایط اقلیمی آینده برای برخی از مناطق دیم خیز کشور را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج احتمال کاهش عملکرد در این نواحی قابل توجه بوده و میانگین این کاهش (بالاترین احتمال) در حدود ۱۸ درصد برای سال ۲۰۲۵ و در حدود ۲۴ درصد برای سال ۲۰۵۰ میلادی می‌باشد. هاودن و جونز (۱۴) در مطالعهٔ خود، برخی عملیات سازگاری با شرایط تغییر اقلیم (نظیر استفاده از ارقام جدید گندم و یا بهبود روش‌های مدیریت) را نیز متوجه کرده و نشان دادند با بکارگیری این روش‌های سازگاری، واکنش گندم به تغییر اقلیم مشتب خواهد بود. با وجود این که مطالعه فوق در مناطق تولید گندم آبی استرالیا انجام شده ولی به نظر می‌رسد که حتی در شرایط دیم نیز با بهره‌گیری از روش‌های مناسب سازگاری به شرایط جدید،

بطور کلی به نظر می‌رسد که شرایط اقلیمی آینده تولید گندم

دیم در کشور را با مشکلات جدی مواجه خواهد ساخت که عمدتاً ناشی از کاهش میزان نزولات و بدنبال آن افزایش تبخیر و تعرق حقيقی می‌باشد. کوتاه شدن فصل واقعی رشد بر اساس قابلیت دسترسی به رطوبت، و طولانی تر شدن طول دورهٔ خشک سایر عوامل مؤثر بر کاهش عملکرد گندم دیم در اقلیم آینده می‌باشند (۲۵، ۴).

احتمالات تغییر بارندگی، درجه حرارت و عملکرد: محاسبه احتمال تغییر عملکرد گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم آینده حاکی از کاهش عملکرد گندم دیم در تمامی مناطق دیم خیز کشور بود. کاهش عملکرد تا حد ۴۰٪ یا بیشتر نیز هر چند با احتمالات پائین در برخی استانهای کشور احتمال می‌رود. هاودن و جونز (۱۴) با انجام مطالعه مشابه در مناطق خشک استرالیا نشان دادند که افزایش عملکرد گندم آبی در اغلب مناطق این کشور در شرایط



شکل (۴) توزیع احتمالات تغییر در عملکرد گندم دیم (درصد) در برخی مناطق دیم خیز کشور برای سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ میلادی.

اینده اقلیمی نیز با عدم قطعیت همراه می باشد. با این وجود بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق، کاهش ۲۰-۲۵ درصدی عملکرد گندم دیم از بالاترین احتمال وقوع برخوردار می باشد. هر چند تأکید این مطالعه بر گندم دیم متوجه بوده، بدینه است که شرایط فوق الذکر و اثرات ناشی از آن علاوه بر گندم، سایر محصولات دیم کشور را نیز تحت تأثیر قرار داده و تولید آنها را با مشکلاتی مواجه خواهد ساخت. ارائه نتایج کمی از تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد سایر محصولات دیم با مطالعات و بررسیهای تکمیلی میسر خواهد شد. مواجهه با تغییرات اقلیمی آینده مستلزم طراحی راهکارهای سازگاری با این شرایط است، لذا مطالعه این راهکارها و ارائه دستورالعمل ها و برنامه های اجرایی از جمله اولویت های تحقیقاتی در پژوهشها تغییر اقلیم محسوب می شود.

امکان تعديل اثرات تغییر اقلیم وجود خواهد داشت. نتیجه گیری: بر اساس پیش بینی های موجود میزان گندم مورد نیاز کشور در طی ۲۰ سال آینده بالغ بر ۲۰ میلیون تن خواهد بود که در حدود ۳۰٪ آن در سیستم های دیم تولید می شود. نتایج این تحقیق نشان داد که تأثیر شرایط اقلیمی آینده بر کاهش عملکرد گندم دیم در ایران قابل توجه می باشد. این تأثیر که به دلیل افزایش درجه حرارت و کاهش میزان بارندگی بروز خواهد کرد در میانگین کاهش عملکردی معادل ۲۰ تا ۲۸ درصد را به ترتیب برای سالهای ۱۴۰۴-۱۴۲۹ بهمراه خواهد داشت. بدینه است که نتایج حاصل از تمامی ستاریوهای اقلیمی با عدم قطعیت هایی همراه است. این عدم قطعیت که دلایل مختلفی برای آن وجود دارد باعث ایجاد آمنه ای از تغییرات درجه حرارت و بارندگی در شرایط آینده خواهد شد و بر این اساس واکنش سیستمهای تولید کشاورزی به تغییرات

منابع

۱. شریفی، ح. ۱۳۸۰. عکس العمل ارقام گندم دیم به تنش های آب و درجه حرارت بالا. پایان نامه دکتری رشته زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. کوچکی، ع. ، نصیری، م. ، اسلطانی، ا. ، شریفی، ح. ، کمالی، غ. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۲. شیوه سازی تغییرات آب و هوایی ایران به وسیله مدلهای گردش عمومی در شرایط دو برابر شدن غلظت گاز کربنیک. مجله ییابان شماره ۲(۸).
۳. نصیری، م. ، کوچکی، ع. و رضوانی مقدم، پ. (ترجمه) ۱۳۸۱. تأثیر تغییر جهانی اقلیم بر تولیدات کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۴. نصیری، م. ، کوچکی، ع. ۱۳۸۴. اثر تغییر اقلیم بر شاخصهای اگروکلیماتیک مناطق کشت گندم دیم ایران. پژوهشها زراعی ایران، ۳(۲): ۳۰۴-۲۹۱.

5. Aggarwal, P.K. 1994. Constraints in wheat productivity in India. Pages 1-11 in Aggarwal, P.K. and Kalra, N. (eds.) Simulating the effect of climatic factors, genotype and management on productivity of wheat in India. Agricultural Research Institute, New Delhi, India.
6. Asseng, S., P.D. Jamiesonb, B. Kimballc, P. Pinterc, K. Sayred, J.W. Bowdenc, and S.M. Howdenf, 2003. Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO₂. Filed Crops Research, 43: 6774.
7. Boogard, H., C. van Diepen, R. Roetter, J. Cabrera and H van Laar, 1998. WOFOST 7.1 User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST control Center 1.5. SC-DLO, IRRI, Wageningen, 144 pp.
8. Bootsma, A. 1997. A review of impacts of climate variability and change on agriculture in At-

- Atlantic Canada. In: Shaw, R.W. (ed) 1997 Climate Change and Climate Variability in Atlantic Canada, Workshop Proceedings, December 3 to 6, 1996. Environment Canada - Atlantic Region Occasional Report no. 9, Environment Canada, Sackville, New Brunswick, p. 79-97.
9. Curry, R. B., R. M. Peart, J. W. Jones , K. J. Boote and L. H. Allen. 1990. Simulation as a tool for analysing Crop response to climate change. *Trans. ASAE* 33, 981-990.
10. Downing, T. E., L. Ringius, M. Hulme and D. Waughray 1997. Adapting to climate Cold Regions, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 809-825.
11. [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1997. Statistical Databases. Available at: <http://apps.fao.org>
12. Goudriaan, J. 1993. Modelling Potential Crop growth Processes. Kulwer Academic Press, The Netherlands.
13. Hammer, G.L., Muchow, R.C., 1991. Quantifying climatic risk to sorghum in Australia's semiarid tropics and subtropics: model development and simulation. In: Muchow, R.C.,
14. Howden, M. and R. Jones, 2001. Costs and benefits of CO₂ increase and climate change on the Australian wheat industry. Australian Greenhouse Office October 2001
15. Hoogenboom, G., 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103, 137-157.
16. Hoogenboom, G. P. Wilkens and G. Tsuji, 1999. DSSAT v3, Vol.4. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
17. Hulme, M, E. M., Barrow, N.W. Arnell, P. A, Harisson, T.C, Jones and T.E. Downing. 1999. Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability. *Nature* 397, 688-691.
18. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. Climate Change 2001: the scientific basis. IPCC Third Assessment Report, Geneva.
19. Jones, R.N. 2000 Analyzing the risk of climate change using an irrigation demand model. *Climate Research*, 14: 89-100.
20. Keating, B.A., Meinke, H., Probert, M.E., Huth, N.I., Hills, I.G., 2001. Nwheat: documentation and performance of a wheat module for APSIM. Tropical Agriculture Technical Memorandum No. 9. CSIRO, Tropical Agriculture.
21. Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H., and R. Ghorbani. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Climate Research*, 30: 247-253.
22. Koocheki, A., Nassiri, M., Kamali, G.A., and H. Shahandeh. 2006. Potential impacts of climate change on agroclimatic indicators in Iran. *Arid Land Research and Management*, 20: 245-259.
23. Menzel, A. and P. Fabian 1999. Growing season extended in Europe. *Nature*, 397: 659.

24. Monteith, J.L., 1981 Climatic variation and the growth of crops. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 107: pp. 749-774.
25. Nassiri, M., Koocheki, A. Kamali, G. A., and H. Shahandeh. 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52 (1): 113-124.
26. Pauw, E. De , W. Gbela, and H. Adamb 2000. Agrometeorological aspects of agriculture and forestry in the arid zones. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: 43-58.
27. Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M ten Berge and A. Bakema, 1989. Simulation of Ecophysiological Processes of Growth in Several Annual Crops. Pudoc, Wageningen, The Netherlands, 270 pp.
28. Richardson, C.W., 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resources Research* 17 (1), 182-190.
29. Reilly, J. 1995. Climate Change and Global Agriculture: Recent Findings and Issues. *American Journal of Agricultural Economics*, 77:727-33.
30. Rosenzweig, C. and Parry, M.L. 1994. Potential impacts of climate change on world food supply. *Nature*, 367:133-138.
31. Saunders, M. A. 1999. Earth's future climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, 357: 3459-3480.
32. Supit, I., A.A. Hooijer and C.A. van Diepen, 1994. System Description of Wofost 6.0 Crop Simulation Model implemented in CGMs. European Commission Joint Research Centre, Luxembourg, pp 144.
33. Tsuji, G., G. Hoogenboom and P. Thornton, 1998. Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Acad. Publ., 399 pp.
34. Tubiello, F.N., Rosenzweig, C., Kimball, B.A., Pinter, Jr., P.J., Wall, G.W., Hunsaker, D.J., Lamorte, R.L. and Garcia, R.L., 1999. Testing CERES-Wheat with FACE data: CO₂ and water interactions. *Agron. J.*, 91:1856-1865.
35. Turner, N.C. 2001. Optimizing water use. In: Nosberger, H.A. and P.C. Struik (eds.) International Crop Science. CAB International, Wallingford, UK, pp 119-135.
36. Van Diepen, C.A., J. Wolf, H. van Keulen and C. Rappolt. 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use Manage*, 5, 16-24.

Evaluation of the Effects of Climate Change on Growth Characteristics and Yield of Rainfed Wheat in Iran

A. Koocheki - M. Nassiri- J.B. Jamali- H. Marashi¹

Abstract

Evidence indicated that climate change in arid and semi-arid areas through reduction of rainfall and an increase in temperature and also potential evapotranspiration, reduces growth and hence yield of wheat. The aim of the present investigation was to evaluate the effects of temperature and rainfall changes on growth rate and yield of rainfed wheat (Sardari cultivar) under future climatic condition of Iran. For this purpose WOFOST model for the present climatic conditions and the years 2025 and 2050, on the basis of UKMO General Circulation Model was used and changes on growth and yield were compared. Results of growth simulation showed that growth rate of rainfed wheat will be reduced by 20-30% for the years 2025 and 2050, respectively. Furthermore despite an increase in CO₂ concentration, yield of wheat will not increase in the eastern parts of the country compared to the Western parts. Average reduction in yield will be 20.6% for the year 2025 and 28.8% for the year 2050.

Key words: Rainfed wheat, Climate change, Growth rate, Yield